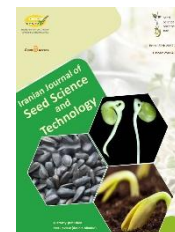




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Interaction of Priming and Water deficit on Seed Production of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* L.) and Evaluation of Germination and Early Seedling Growth Traits of the Second-Generation Seeds

Elnaz Cheraghi Taghbostani¹, Yousef Sohrabi^{2*}, Hedieh Badakhshan³

1. MSc. Graduate of Seed Agrotechnology, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2. Professor, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
3. Associate Professor, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Article Information

Received: 06 Apr. 2025
Revised: 30 Jul. 2025
Accepted: 11 Aug. 2025

Keywords:

Dragon's head,
Priming,
Drought stress,
Seed Germination.

Corresponding Author:

y.sohrabi@uok.ac.ir



Abstract

Seed priming is a technique employed to enhance the speed and uniformity of seed germination. To investigate the effect of seed priming on the germination characteristics of *Lallemantia iberica* seeds, two factorial experiments based on a completely randomized design were conducted in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Kurdistan University, during 2021. The experimental factors included seed priming (priming with auxin, gibberellic acid, salicylic acid, ascorbic acid, hydrated zinc sulfate, and a control) and irrigation levels (100%, 70%, and 40% of soil field capacity). In these experiments, plants derived from primed seeds were cultivated under different irrigation regimes, and their resulting seeds were evaluated for germination-related traits. In the seeds obtained from both experimental trials, the highest germination percentage (96.67%), germination rate (14.22), and seedling dry weight (0.117 g) were observed in seeds primed with gibberellic acid under full irrigation conditions. Under water stress conditions, the germination percentage of seeds resulting from auxin and zinc sulfate priming treatments was 88.89% and 88.6% in the first experiment, respectively, and 85.4% and 85.8% in the second experiment. These treatments increased seed germination by 5.83% and 5.5% in the first experiment, and 1.3% and 1.8% in the second experiment, respectively, compared to the control. It is inferred that certain priming methods, including priming with gibberellic acid, auxin, and zinc sulfate, had a more significant impact on traits such as germination percentage and speed, and seedling dry weight compared to other treatments, though environmental factors during maternal plant growth may limit seed priming effectiveness.

How to cite this paper: Cheraghi Taghbostani, E., Sohrabi, & Badakhshan, H. (2026). Interaction of Priming and Water deficit on Seed Production of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* L.) and Evaluation of Germination and Early Seedling Growth Traits of the Second-Generation Seeds. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15 (3), 35-54. <https://doi.org/10.22092/ijst.2025.368928.1554>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Medicinal plants play a crucial role in medical and pharmaceutical sciences due to their bioactive compounds, including essential oils, flavonoids, and antioxidants. Dragon's head (*Lallemantia iberica*) plant is a valuable medicinal plant from the Lamiaceae family, garnering attention for its medicinal, agricultural and industrial applications. Given the diminishing water resources and the adverse effects of water deficit on seed germination and plant growth, the utilization of germination enhancement techniques like seed priming is of paramount importance. The effect of seed priming on improving germination and subsequently increasing the growth of the savory medicinal plant has been confirmed. One priming technique involves the use of hormones. Hormones play a significant role in controlling the stages of germination. Growth hormones that are used for seed pre-treatment include auxin, gibberellins, abscisic acid, kinetin, brassinosteroids, polyamines, ethylene, and salicylic acid. Given the pivotal impact of rapid seed germination and seedling establishment on plant growth and yield, particularly under environmental stresses such as drought, the present study was conducted to investigate the effects of various seed priming treatments on enhancing germination-related traits in *Lallemantia iberica* seeds under different irrigation regimes.

Materials and Methods

To investigate the impact of seed priming on the germination of *Lallemantia iberica*, two factorial experiments based on a completely randomized design with four replications were conducted in the greenhouse of the University of Kurdistan in 2021. Seeds were sown on two dates, May 30, 2021, and June 30, 2021. Priming treatments included auxin, gibberellic acid, salicylic acid, ascorbic acid (all at a concentration of 150 mg/L), hydrated zinc sulfate (0.3% w/v), and a non-primed control. Irrigation regimes were assessed at three levels: 100%, 70%, and 40% of field capacity. Following priming and a period of low-temperature storage, seeds were sown in pots containing an equal mixture of soil, sand, and manure. Irrigation was performed every three days until seedling establishment, and then every five days. Irrigation treatments were applied from one week before flowering for 40 days. Germinated seeds were evaluated in the laboratory for germination rate and percentage, as well as radicle and plumule length and dry weight. Prior to the experiment, equipment was sterilized in an autoclave (120°C, 2 hours). Dragon's head seeds were disinfected with 96% ethanol (30 seconds) and 10% sodium hypochlorite (50 seconds), and rinsed with distilled water. They were then incubated in priming solutions for 10 hours with adequate aeration, followed

by rinsing, drying for three days, and storage at 4-6°C for one week to break dormancy. Germination percentage was determined by counting normal seedlings relative to the total number of seeds sown. Germination rate was calculated based on the number of germinated seeds per day. Plumule and radicle lengths were measured after 10 days. Seedling dry weight was determined after oven-drying.

Results and Discussion

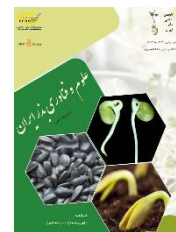
The results of this study demonstrated that water deficit significantly reduced germination percentage and rate, radicle, plumule, and seedling dry weight, as well as radicle and plumule length in dragon's head. The most pronounced reductions in these traits were observed under severe water deficit (40% field capacity). Conversely, seed priming treatments were able to partially mitigate the negative effects of drought. Priming with auxin and GA3 exhibited the most significant positive impact on germination percentage and rate, while priming with AsA and SA had a greater effect on increasing seedling dry weight and radicle and plumule growth. The results also indicated that the effects of priming varied across different water deficit levels, with less pronounced differences between priming treatments under full irrigation conditions. Under moderate stress (70% field capacity), GA3 and auxin priming performed favorably, whereas under severe stress (40% field capacity), SA and AsA treatments were able to improve seedling dry weight relative to the control. The findings suggest that seed priming with plant growth regulators and nutrients can be an effective strategy for mitigating the negative effects of drought by improving the germination process and enhancing early plant growth. Therefore, the application of seed priming is proposed as a cost-effective and efficient approach to improve the establishment of dragon's head seedlings under water stress conditions.

Conclusion

The results of this research indicated that water deficit has a significant negative impact on the germination and early growth of dragon's head plant. However, seed priming treatments, especially with hormones (GA3, auxin, SA) and nutrients (AsA), were able to reduce the adverse effects of drought. Seed priming improved germination percentage and rate, increased radicle and plumule length and dry weight, which ultimately contributed to better seedling establishment under stress conditions. Given the diminishing water resources and the importance of increasing agricultural productivity, the use of seed priming as an effective and economical method for improving the germination and growth of medicinal plants such as dragon's head is recommended.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

برهمکنش پرایمینگ و تنش کم آبی بر تولید بذر بالنگوی سیاه (*Lallemantia iberica* L.) و ارزیابی صفات جوانه زنی و نمو اولیه گیاهچه بذرهای نسل دوم

الناز چراغی طاقوستانی^۱، یوسف سهرابی^{۲*}، هدیه بدخشان^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد اگر و تکنولوژی بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

واژه‌های کلیدی:

بالنگوی سیاه،

پرایمینگ،

تنش خشکی،

جوانه زنی بذر.

نویسنده مسئول:

y.sohrabi@uok.ac.ir

پرایمینگ بذر، راهکاری است که موجب افزایش سرعت و یکنواختی جوانه زنی بذر می‌شود. به منظور بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر خصوصیات جوانه زنی بذر گیاه بالنگوی سیاه، دو نوبت آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از پرایمینگ بذر (پرایمینگ با اکسین، جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید، اسید آسکوریک، سولفات روی آبدار و شاهد، و سطوح آبیاری (۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک). در این آزمایشات، گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری پرورش یافتند و بذرهای حاصل از آنها به لحاظ صفات مرتبط با جوانه زنی ارزیابی شدند. در بذور حاصل از هر دو نوبت آزمایش، نتایج نشان داد که بیشترین درصد (۹۶/۶۷ درصد) و سرعت جوانه زنی (۱۴/۲۲) و وزن خشک گیاهچه (۰/۱۱۷ گرم) در بذر پرایم شده با جیبرلیک اسید تحت تیمار آبیاری کامل به دست آمد. در شرایط تنش کم آبی، درصد جوانه زنی بذرهای حاصل از تیمار پرایمینگ با اکسین و سولفات روی به ترتیب در آزمایش نوبت اول ۸۸/۸۹ و ۸۸/۶ درصد و در آزمایش نوبت دوم ۸۵/۴ و ۸۵/۸ درصد بود که جوانه زنی بذر را به ترتیب معادل ۵/۸۳ و ۵/۵ درصد و ۱/۳ و ۱/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. استنباط می‌شود برخی روش‌های پرایمینگ از جمله جیبرلیک اسید، اکسین و سولفات روی بیش از سایر موارد بر صفاتی مانند درصد و سرعت جوانه زنی و وزن خشک گیاهچه موثر واقع شد، هرچند عوامل محیطی در زمان نمو گیاه مادری می‌تواند اثرات پرایمینگ بذر را کاهش دهد.

نحوه استناد به این مقاله:

Cheraghi Taghboostani, E., Sohrabi, & Badakhshan, H. (2026). Interaction of Priming and Water deficit on Seed Production of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* L.) and Evaluation of Germination and Early Seedling Growth Traits of the Second-Generation Seeds. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15 (3), 35-54. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2025.368928.1554>

مقدمه

گیاه دارویی بالنگوی سیاه (*Lallemantia iberica* (Stiv.) Fisch & C.A. May) جزو گیاهان موسیلاژی تیره نعناع^۱ می باشد (Mohammadghasemi et al., 2020). (Hedge, 1970). بالنگو از منظر گیاهشناسی گیاهی علفی، یک ساله، تقریباً بدون کرک، با ارتفاعی بین ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر، گل آذین به فرم سنبله و گل های آبی رنگ شناسایی می شود (Mohammadghasemi et al., 2021). بذرهای بالنگو سیاه از نوع فندقه، دوکی شکل و سیاه رنگ که قسمت V شکل ناف^۲ باعث تمایز از بذرهای سایر گونه های بالنگو شده است (Talebi, 2011). یکی از ویژگی های بذر جنس بالنگو تولید موسیلاژ^۳ در سطح پوسته بذر می باشد (Western, 2012). بذر بالنگو هنگامی که با آب مرطوب می شوند، با یک لایه موسیلاژ شفاف، حجیم و هیدروکلوئیدی پوشانده می شود که طعمی ملایم، تسکین دهنده و کمی تند دارد (Razavi & Mohammadi, 2011). موسیلاژها با حفظ رطوبت برای بذر در دوره جوانه زنی و رشد گیاهچه (Yang et al., 2010)، عملکردهای گوناگونی در حمایت از جوانه زنی بذر ایفا کرده و از دست دادن رطوبت بذر را در تماس با خاک به حداقل می رسانند (Sun et al., 2012). علاوه بر موسیلاژ بذر، اندام رویشی بالنگو سیاه حاوی ترپنوئیدها^۴، ترکیبات فلاونوئیدی^۵ و اسانس^۶ نیز می باشد (Salehi, 2019).

در چند دهه اخیر مناطق تولید محصولات کشاورزی با کاهش مداوم آب آبیاری روبرو بوده اند. این در حالی است که بیش از ۷۰ درصد از آب شیرین قابل دسترس جهان برای مصارف کشاورزی استفاده می شود (Gol Kerami & Kavyanirad, 2016). خشکسالی یکی از مهم ترین تنش های محیطی است که بهره وری محصول را کاهش می دهد (Sarshad et al., 2021). ایران همواره جزو کشورهایی است که با شدیدترین تنش های محیطی مواجه بوده است و حتی در سال های آتی نیز خشکسالی زیادی پیش بینی شده است (Mesgaran et al., 2016). کم آبی، رشد گیاهان، توسعه و

عملکرد آن ها را در سرتاسر جهان محدود می سازد. به طوری که در اثر خشکی میانگین تولیدات گیاهی بیش از ۵۰ درصد کاهش می یابد (Abasi Sadr et al., 2018). نخستین اثر تنش خشکی بر گیاه تأخیر در جوانه زنی و استقرار گیاهچه است (Ghalkhani et al., 2020). مقاومت گیاهان به تنش های محیطی در مراحل چرخه زندگی گیاه متفاوت است و معمولاً در اغلب گیاهان، مرحله ابتدایی رشد به عنوان حساس ترین مرحله رشدی تلقی می شود. استقرار گیاهچه در چرخه زندگی گیاه حائز اهمیت بوده و استقرار موفق گیاه نه تنها به جوانه زنی سریع و یکنواخت وابسته است؛ بلکه، به توانایی بذر در جوانه زنی تحت شرایط تنش بستگی دارد. این مراحل جزو مراحل حساس به تنش هستند (Acharya et al., 2020). تحمل به خشکی در طی این مرحله برای استقرار گیاهان حائز اهمیت است، زیرا جوانه زنی ضعیف و کاهش رشد گیاهچه به استقرار ضعیف و گاهی نابودی محصول منجر می گردد (Causin et al., 2020). نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی دار در عملکرد گیاه و محتوای روغن هر دو گونه بالنگو شد. با این حال، گونه *Lallemantia iberica* نسبت به *Lallemantia royleana* تحمل بیشتری به شرایط خشکی از خود نشان داد و توانست عملکرد و ویژگی های بیوشیمیایی مطلوب تری را در شرایط تنش حفظ کند (Omidi et al., 2018).

در گزارشی دیگر بیان شد که با کاهش مقدار آب آبیاری درصد موسیلاژ نسبت به شرایط ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده در هر دو گونه بالنگو (*Lallemantia iberica* L.) و (*L. royleana* L.) افزایش می یابد (Paravar et al., 2021). محققان اظهار داشتند که پرایمینگ توسط سالیسیلیک اسید یک میلی مولار باعث افزایش پارامترهای رشد گیاهچه بالنگو در سطوح تنش خشکی شد (Ahmadi et al., 2018).

1. Lamiaceae
2. Hilum
3. Mucilage
4. Terpenoids
5. Flavonoide
6. Essential oil

با توجه به اهمیت تأثیر جوانه‌زنی و استقرار سریع گیاهچه بر رشد و عملکرد گیاه به ویژه در شرایط وقوع تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی، آزمایش حاضر به منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذور در بهبود صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذور گیاه بالنگوی سیاه تحت سطوح مختلف آبیاری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر پرایمینگ بذور بر خصوصیات جوانه‌زنی بذور گیاه بالنگو سیاه، دو نوبت آزمایش (کاشت بذور پرایم شده در دو زمان متفاوت) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. در آزمایش گلدانی اول، بذور از توده بومی زنجان (جمع آوری شده از مزرعه تحقیقات زنجان در سال ۱۳۹۸) در تاریخ ۱۴۰۰/۳/۱۰ و در آزمایش گلدانی دوم این بذور با فاصله حدود یک ماه از آزمایش اول در تاریخ ۱۴۰۰/۴/۱۰ کشت شدند. تکرار آزمایش در دو نوبت با هدف دستیابی به نتایج معتبر و قابل اعتماد انجام شد. تیمارهای پرایمینگ شامل پرایمینگ با اکسین، جیبرلیک اسید و سالیسیلیک اسید (هر کدام با غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر)، اسید آسکوربیک (۱۵۰ میلی گرم در لیتر)، سولفات روی آبدار (۰/۳ درصد وزنی-حجمی) و شاهد بدون پرایمینگ بود و رژیم‌های مختلف آبیاری نیز در سه سطح ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مد نظر قرار گرفتند. در آزمایش حاضر، بذرها حاصل از گیاهانی که از بذور پرایم شده به وجود آمدند و طی دو آزمایش گلخانه‌ای تحت رژیم‌های مختلف آبیاری رشد و پرورش یافتند از نظر سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفتند. قبل از کشت جهت اطمینان از عدم شوری خاک یا بستر گلدان مرحله آبهویی انجام شد. ابتدا بذرها را گیاه بالنگوی سیاه با اتانول ۹۶ درصد به مدت

خاصی به آن شده است تکنیک آماده‌سازی بذور است (Rehman et al., 2015). پرایمینگ بذور یک فناوری محسوب می‌شود که می‌تواند تولید محصولات گیاهی را بهبود بخشد (Latifi & Omid, 2019; Marthandan et al., 2020). اثر پرایمینگ بذور در بهبود جوانه‌زنی و متعاقباً افزایش رشد برخی گیاه دارویی از جمله مرزه تأیید شده است (Amini et al., 2015). هورمون‌ها در کنترل مراحل جوانه‌زنی نقش به‌سزایی دارند. از جمله هورمون‌های رشدی که برای پیش‌تیمار کردن بذور به کار برده می‌شوند اکسین‌ها (IAA, IBA, NAA)^۱، جبریلین‌ها (GA)^۲، آبسزیک اسید^۳، کینتین^۴، پراسینوآستروئید^۵، پلی آمین‌ها^۶، اتیلن^۷ و سالیسیلیک اسید^۸ می‌باشند. در میان تنظیم‌کننده‌های رشد، ایندول استیک اسید (IAA)^۹ با هدف قرار دادن مکان‌های رشد گیاه، رشد و نمو گیاهچه را بهبود می‌بخشد و جوانه‌زنی بذور، رشد و ازدیاد طول سلول، تولید ریشه و رشد سلولی را در راس ساقه‌چه تحریک می‌کند (Zhang et al., 2018). در مطالعه‌ای اظهار شده است که اکسین توانسته در تحریک جوانه‌زنی نقش داشته باشد. این هورمون در جنین‌زایی نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند (Latifi & Omid, 2019). جبریلین‌ها نیز به گروهی از هورمون‌ها اطلاق می‌شود که بیشترین دخالت مستقیم را در تنظیم و تسهیل جوانه‌زنی بذور دارند. جبریلین در بذور، موجب شکسته شدن نشاسته بذور و تبدیل آن به مواد قابل استفاده جنین شده و باعث شروع جوانه‌زنی می‌گردد. همچنین جبریلین باعث فعال سازی متابولیسم، هضم مواد ذخیره‌ای و انتقال به جنین و تقسیم رشد سلولی شده و در تنظیم فرایندهایی مانند رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه نقش بسزایی دارد (Salehi Sardoui & Hasanpour, 2021). گزارش‌های گسترده‌ای در مورد نقش مهم GA₃ در افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی، از جمله سمیت فلزات، خشکی، گرما، اختلالات اسمزی و سمیت یونی ناشی از نمک در دسترس است (Neill et al., 2019).

1. Indole-3-acetic acid, Indole-3-butyric acid, 1-Naphthylacetic acid
2. Gibberellic acid
3. Absciscic acid
4. Kinetin
5. Brassinosteroids
6. Polyamines
7. Ethylen
8. Salicylic acid
9. Indole-3-acetic acid

۳۰ ثانیه و سپس هیپوکلراید سدیم ۱۰ درصد (v/v) به مدت ۵۰ ثانیه ضدعفونی شدند و بلافاصله چندین بار با آب مقطر آبکشی شدند. بذرها در محلول‌های پرایمینگ ب به مدت ۱۰ ساعت در دمای ۱۹ الی ۲۱ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و با استفاده از پمپ آکواریوم عمل تهویه انجام شد. پس از آن بذرها به سرعت

با آب مقطر آبکشی شدند و به مدت سه روز در دمای ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی گراد خشک شدند. در هر دو آزمایش، بذور در گلدان‌های حاوی نسبت مساوی از خاک، ماسه و کود دامی کاشته شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای گلدان‌ها دو آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil used for pots in two experiments

فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	اسیدیته pH	شوری خاک EC (ds.m ⁻¹)	ماده آلی OC (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
110	1169	0.15	7.82	1.66	1.46	54.72	30.72	14.56

تا زمان استقرار کامل بوته‌ها هر سه روز یکبار آبیاری انجام گردید و بعد از استقرار، هر پنج روز یکبار گلدان‌ها آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری برای اعمال شرایط تنش از یک هفته قبل از گلدهی (در مرحله شروع گلدهی) به مدت ۴۰ روز (۹ مرحله) آغاز شد و تا ۱۰ روز قبل از برداشت (رسیدگی فیزیولوژیک) ادامه یافت. زمان اعمال تیمار آبیاری (درصد از ظرفیت زراعی) در گلدان‌ها به روش وزنی تعیین شد. آبیاری به فواصل ۵ روز یکبار انجام شد و در هر آبیاری، وزن گلدان تحت آبیاری کامل ملاک عمل بود و بعد از ۵ روز میزان آبی که نیاز بود تا به ظرفیت زراعی برسد، تعیین و مصرف گردید. برای تیمارهای ۴۰ و ۷۰ درصد آبیاری، به میزان ۴۰ و ۷۰ درصد آب مورد نیاز تیمار آبیاری کامل، آب مصرف شد. در نهایت، بذور حاصل از این گیاهان با رعایت اثر حاشیه برداشت شدند و جهت بررسی صفات جوانه‌زنی، به آزمایشگاه منتقل شدند.

برای کاشت در آزمایشگاه، ابتدا پتری‌دیش‌های با قطر ۹۰ میلی‌متر با اشعه UV ضدعفونی شدند و داخل هر پتری‌دیش ۲۵ عدد بذر (بذرهای نسل دوم که در دو آزمایش گلخانه‌ای از گیاهان پرورش یافته تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری به دست آمدند) بر روی کاغذ واتمن قرار گرفته و به هر کدام ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. برای تعیین جوانه‌زنی، پتری‌دیش‌ها به ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انتقال داده شدند و به مدت ۱۰ روز در این

شرایط نگهداری شدند. سپس شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاه‌چه به شرح زیر اندازه‌گیری شدند (Karimi Jalilehvandi et al., 2017; Pahlavan et al., 2018; Daneshmandi et al., 2019).

درصد جوانه‌زنی

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی، پس از آخرین روز شمارش بذور جوانه‌زده تعداد گیاهچه‌های نرمال بر تعداد بذور تقسیم شد و طبق معادله ۱ به صورت درصد محاسبه گردید (Maguire, 1962).

$$GP = \frac{\sum n_i}{N} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه GP درصد جوانه‌زنی، n_i تعداد بذور جوانه‌زده در زمان N تعداد کل بذرها در هر آزمایش بود.

سرعت جوانه‌زنی

این شاخص با شمارش بذور در روز و طبق معادله ۲ محاسبه گردید (Singh et al., 2018).

$$R = \sum \frac{n_i}{d_i} \quad (2)$$

در این رابطه، R سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)، $\sum n_i$ تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز و d_i تعداد روز از شروع آزمایش هستند.

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

پس از اتمام دوره جوانه‌زنی (۱۰ روز پس از آزمایش) طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به کمک خط کش اندازه‌گیری شد.

وزن خشک ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه

در پایان آزمایش جوانه‌زنی، قسمت‌های مختلف گیاهچه شامل ساقه‌چه و ریشه‌چه مربوط به هر تیمار به صورت جداگانه در پاکت قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس توسط ترازوی دیجیتالی توزین شدند.

آنالیز داده‌های آماری

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول، سطوح آبیاری در سه سطح (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و فاکتور دوم، پرایمینگ بذر در شش سطح (شاهد، سالیسیلیک اسید، اسکوربیک اسید، سولفات روی، اکسین و جیبرلیک اسید) بودند. پس از انجام تجزیه واریانس اولیه، به منظور بررسی امکان تجزیه و تحلیل همزمان داده‌های مربوط به دو نوبت کشت، آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی برای تمامی صفات مورد مطالعه انجام شد. این بررسی با استفاده از آزمون بارتلت صورت گرفت. نتایج آزمون بارتلت نشان داد که برای صفاتی نظیر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه،

آزمون معنی‌دار بود. به عبارت دیگر، فرض صفر مبنی بر یکنواختی واریانس‌ها رد شد و بین نوبت‌های کشت، واریانس خطاهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نشان داد. با توجه به این نابرابری واریانس‌ها، امکان انجام تجزیه واریانس مرکب برای این صفات وجود نداشت؛ از این رو، تحلیل آماری آن‌ها به صورت جداگانه برای هر نوبت کشت ادامه یافت. آنالیز داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.2 و ترسیم نمودارها توسط نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به جوانه‌زنی بذور حاصل از آزمایش اول گلخانه‌ای نشان داد (جدول ۲) که اثرات ساده تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد و پرایمینگ در سطح احتمال پنج درصد بر درصد جوانه‌زنی بذر بالنگو سیاه معنی‌دار گردید. مطابق جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به جوانه‌زنی بذور حاصل از آزمایش دوم گلخانه‌ای، اثر برهمکنش تنش کم آبی × پرایمینگ در سطح احتمال پنج درصد بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار گردید (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس مقادیر صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذور حاصل از گیاهان بالنگوی تولید شده از بذور تحت تیمارهای مختلف آبیاری و پرایمینگ (آزمایش گلخانه‌ای نوبت اول).

Table 2- Analysis of variance of seed germination-related traits of dragon's head plants produced from seeds under different irrigation and priming treatments (First greenhouse experiment)

میانگین مربعات (Mean Squares)								
وزن خشک گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	درجه آزادی	منابع تغییرات
Dry Weight of Seedling	Plumule Length	Radicle Length	Dry Weight of Plumule	Dry Weight of Radicle	Germination Rate	Germination Percentage	Df	S.O.V
0.0575**	585.135**	1242.687**	0.069**	0.0021**	24.07**	1123.875**	2	تنش کم آبی (Water deficit stress)
0.0010**	29.972**	35.382**	0.002**	0.00047 ^{ns}	2.28**	124.533**	5	پرایمینگ (Priming)
0.00086**	12.538 ^{ns}	9.026 ^{ns}	0.0015**	0.000193 ^{ns}	1.61 ^{ns}	77.758 ^{ns}	10	پرایمینگ × تنش کم آبی (Priming × Water deficit Stress)
0.00018	7.793	6.46	0.00043	0.00004	0.91	44.55	54	خطا (Error)
8.56	18.03	12.97	15.79	13.31	7.67	7.64		ضریب تغییرات (درصد) (C.V%)

*, **, و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار هستند.

*, **, and ns are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, and non-significant.

جدول ۳- تجزیه واریانس مقادیر صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذر حاصل از گیاهان بالنگوی تولید شده از بذر تحت تیمارهای مختلف آبیاری و پرایمینگ (آزمایش گلخانه‌ای نوبت دوم).

Table 3- Analysis of variance of seed germination-related traits of dragon's head plants produced from seeds under different irrigation and priming treatments (Second greenhouse experiment)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات (Mean Squares)						
		درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	وزن خشک ریشه‌چه Dry Weight of Radicle	وزن خشک ساقه‌چه Dry Weight of Plumule	طول ریشه‌چه Radicle Length	طول ساقه‌چه Plumule Length	وزن خشک گیاهچه Dry Weight of Seedling
تنش کم آبی (Water deficit stress)	2	681.930**	13.24**	0.0021**	0.045**	1145.457**	575.165**	0.0576**
پرایمینگ (Priming)	5	88.288**	1.95**	0.00049**	0.0095 ^{ns}	44.544**	15.323 ^{ns}	0.00041*
پرایمینگ × تنش کم آبی (Priming × water deficit Stres)	10	54.597*	0.74 ^{ns}	0.000165**	0.0085 ^{ns}	13.699 ^{ns}	15.0885 ^{ns}	0.00096**
خطا (Error)	54	23.03	0.52	0.00004	0.0086	9.698	8.835	0.00014
ضرب تغییرات (%) (C.V%)		5.414	5.81	13.23	63.33	15.96	19.782	7.59

*, **, و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار هستند.

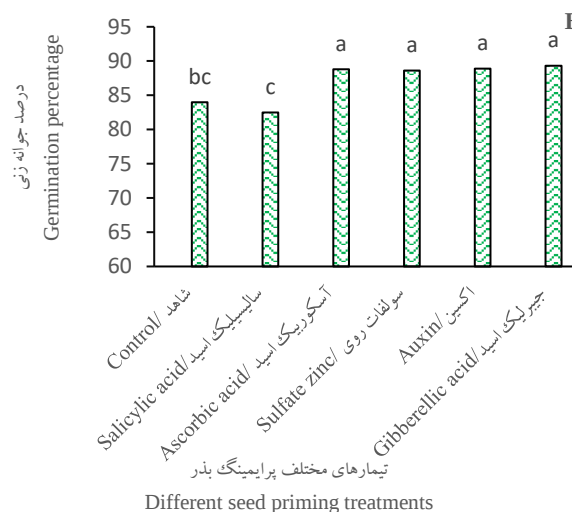
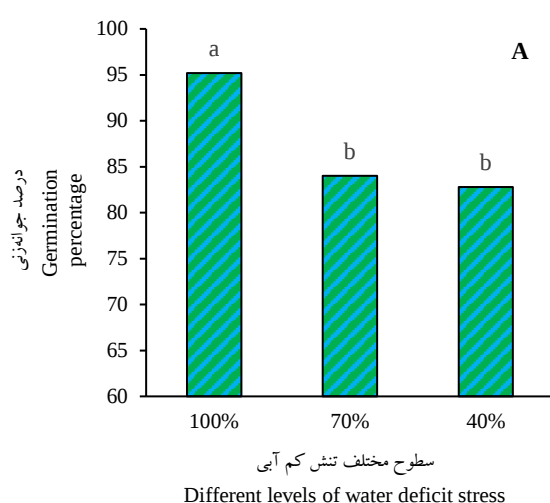
*, **, and ns are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively, and non-significant.

کم آبی ۷۰ درصد، بیشترین میزان (۸۶ درصد) به تیمارهای پرایم آسکوربیک اسید، سولفات روی، اکسین و جیبرلیک اسید و کمترین میزان (۷۸ درصد) به شاهد تعلق داشت و همه تیمارهای پرایمینگ به طور معنی داری درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد افزایش دادند. در سطح تنش کم آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، بیشترین میزان (۸۶ درصد) به تیمار پرایم سولفات روی و اکسین و کمترین میزان (۷۵ درصد) به تیمار پرایم سالیسیلیک اسید مربوط بود، ولی بین تیمارهای پرایمینگ و شاهد به جز تیمار سالیسیلیک اسید تفاوت معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲). خصوصاً در شرایط آبیاری کامل که آب کافی نیز برای رشد کامل دانه در اختیار گیاه قرار داشت. با توجه به اینکه مرحله جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در چرخه رشدی گیاهان به حساب می‌آید، استفاده از ترکیباتی که باعث بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه شوند، موجب مقاومت گیاه در آن مرحله به شرایط تنش‌زا می‌گردد. در چنین شرایطی، پرایمینگ بذر با افزایش قدرت بذر و افزایش رشد گیاهچه در شرایط تنش نقش مفیدی را ایفا می‌کند (Gholami et al., 2021). در مطالعه‌ای تحت عنوان اثر تنش خشکی و شوری بر جوانه‌زنی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گزارش شد که با افزایش تنش شوری

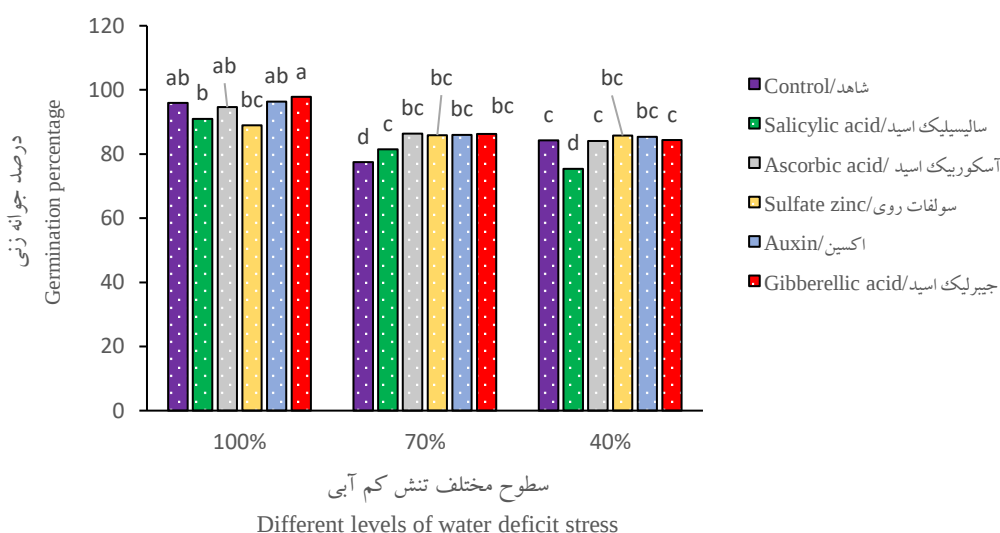
در آزمایش اول، بیشترین درصد جوانه‌زنی تحت تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد (۹۵/۲ درصد) و کمترین مقدار (۸۲/۸ درصد) در تیمارهای تنش کم آبی ۴۰ درصد و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک حاصل گردید (شکل ۱ الف). در مقایسه تیمارهای پرایمینگ بذر نیز مشخص شد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۹/۳ درصد) به تیمار پرایمینگ جیبرلیک اسید اختصاص یافت که با تیمارهای پرایمینگ بذر با اکسین، آسکوربیک اسید و سولفات روی تفاوت معنی داری نشان نداد. این تیمارها به طور معنی داری نسبت به تیمار سالیسیلیک اسید و شاهد برتر بودند. کمترین درصد جوانه‌زنی (۸۲/۵ درصد) به تیمار سالیسیلیک اسید تعلق داشت (شکل ۱ ب). در آزمایش دوم، در تمامی تیمارهای پرایمینگ تنش کم آبی ۷۰ درصد و ۴۰ درصد باعث کاهش درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار آبیاری کامل گردید. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۸ درصد) به تیمار پرایم جیبرلیک اسید تعلق داشت که با تیمار شاهد، آسکوربیک اسید و اکسین در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین درصد جوانه‌زنی (۸۹ درصد) به تیمار پرایم سولفات روی مربوط بود. در مجموع، بین تیمارهای پرایمینگ با شاهد تفاوت معنی داری ایجاد نگردید. در سطح تنش

تیمار بذر چاودار کوهی با جیبرلین سبب افزایش درصد جوانه‌زنی تحت شرایط تنش می‌شود (Ansari & Sharif Zadeh, 2012). با توجه به اینکه تحت شرایط آبیاری کامل، درصد جوانه‌زنی بذور شاهد از لحاظ آماری با پیش تیمار جیبرلین اختلاف معنی‌داری نداشته است. بنابراین استنباط می‌شود تنش کم آبی نمی‌تواند عامل سکون^۱ بذرها را بالنگوی سیاه گردد.

و خشکی به طور معنی‌داری از سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاسته شد (Rusta & Parsa, 2016). در یک پژوهشی، اثر تنش خشکی بر صفات جوانه‌زنی دو گیاه دارویی زوفا و مارگاریت بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش، درصد جوانه‌زنی کاهش و میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافت (Amiri et al., 2011). برخی محققان گزارش کردند که



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش کم آبی (الف) و پرایمینگ بذر (ب) بر درصد جوانه‌زنی بذور بالنگوی سیاه حاصل از آزمایش گلخانه‌ای نوبت اول
Figure 1- Comparison of the average effect of different levels of water deficit (A) and seed priming (B) on the germination percentage of dragon's head seeds obtained in the first greenhouse experiment

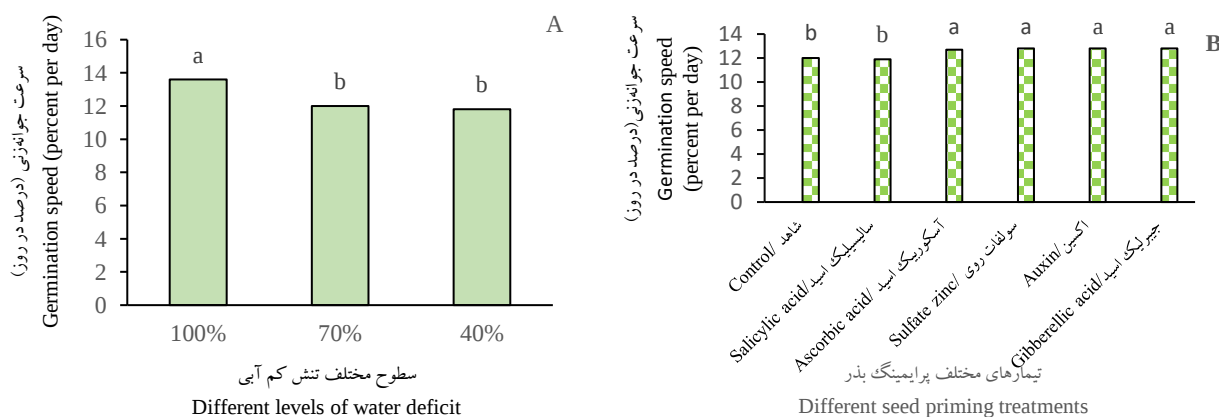


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ بذر × سطوح مختلف تنش کم آبی بر درصد جوانه‌زنی گیاه بالنگوی سیاه حاصل از آزمایش گلخانه‌ای نوبت دوم
Figure 2- Comparison of the average interaction effect of seed priming × different levels of water deficit on the germination percentage of dragon's head seeds obtained in the second greenhouse experiment

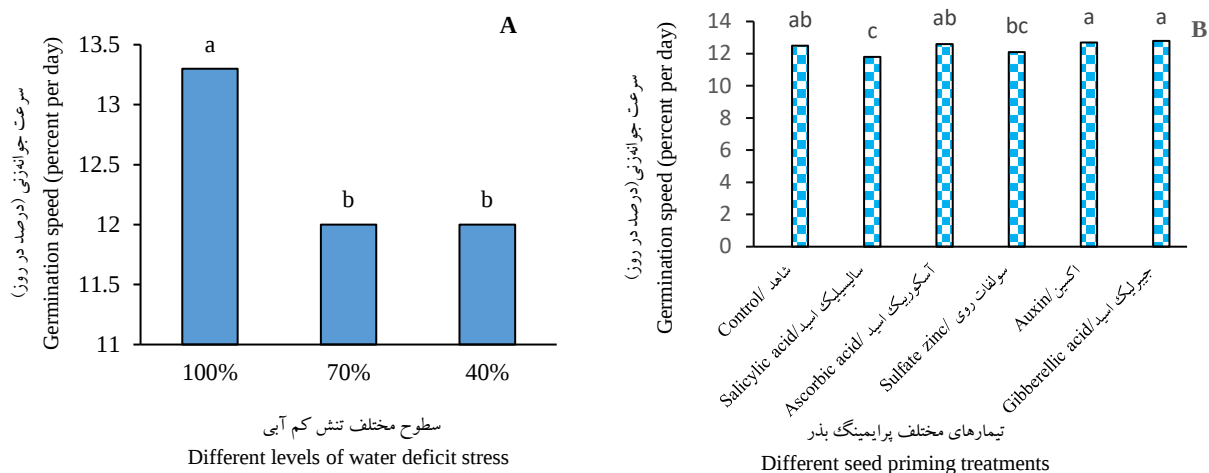
سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به جوانه‌زنی بذور حاصل نشان داد اثرات ساده تنش کم آبی و پرایمینگ بذر در سطح احتمال یک درصد بر سرعت جوانه‌زنی بذور بالنگوی سیاه معنی‌دار است (جدول ۲ و ۳). در آزمایش اول، بیشترین سرعت جوانه‌زنی تحت تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد (۱۳/۶ بذر در روز) و کمترین سرعت جوانه‌زنی (۱۱/۸ بذر در روز) تحت تنش کم آبی ۷۰ درصد و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌دست آمد. سطوح تنش کم آبی ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۳ الف). مقایسه میانگین تیمارهای پرایمینگ بذر نیز نشان داد که بالاترین سرعت جوانه‌زنی به تیمار پرایمینگ بذر گیاه مادری با اکسین تعلق داشت. این تیمار با تیمارهای پرایمینگ بذر با آسکوربیک اسید، سولفات روی و جیبرلیک اسید در یک گروه آماری قرار داشتند و به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد برتر بودند (شکل ۳ ب). در آزمایش دوم، بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۱۳/۳ بذر در روز) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک حاصل گردید و کمترین مقدار به تنش کم آبی ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک اختصاص پیدا کرد که در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۴ الف). در آزمایش دوم، تنها کاربرد سالیسیلیک اسید باعث کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد گردید. سایر تیمارها با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴ ب). پژوهشگران دیگر نیز گزارش

کردند که اعمال تنش کم آبی بر جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های گلرنگ در نتیجه کاهش جذب آب و سرعت جوانه‌زنی و طول ساقچه‌چه اثر منفی داشت (Eisvand et al., 2010). لازم به توضیح است که تیمارهای پرایمینگ بذر با اکسین و جیبرلیک اسید بالاترین سرعت جوانه‌زنی را نشان دادند. در تحقیقی اثر پیش تیمار هورمون‌های جیبرلین و اکسین روی بذور *Bromus inermis* نشان داد سرعت جوانه‌زنی، درصد سبز شدن، همچنین طول ریشه‌چه (Eisvand et al., 2010) افزایش یافت (Eisvand et al., 2010). محققان اظهار داشتند که تیمار بذر گیاه (*Datura stramonium*) با هورمون جیبرلیک اسید باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد گردید (Saberi & Karimian, 2018). جیبرلین یکی از مهمترین تنظیم‌کننده‌های رشد سلولی و یک گروه از اسیدهای دی‌ترپنوئید است که تنظیم بسیاری از جنبه‌های رشد و نمو گیاه، از جمله شکستن خواب و جوانه‌زنی بذر، توسعه جنین و تأثیر بر گلدهی، افزایش طول ساقچه، گسترش برگ و توسعه گل و میوه را بر عهده دارد (Maleki Narg Mousa et al., 2015). در مطالعه‌ای مشخص شد تنش‌های محیطی با جلوگیری از بیان ژن‌های مسئول سنتز اسید جیبرلیک در بذر، از اثرات منفی روی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان برخوردارند و کاربرد اسید جیبرلیک برون‌زا موجب افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی بذور گردید (Shekari et al., 2016) که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش کم آبی (الف) و پرایمینگ بذر بر سرعت جوانه‌زنی بذور بالنگوی سیاه حاصل از آزمایش گلخانه‌ای نوبت اول
Figure 3- Mean comparison of the simple effects of water deficit (A) and seed priming (B) on the germination rate of dragon's head seeds (A) obtained from the first greenhouse experiment



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح مختلف تنش کم آبی (الف) و تیمارهای مختلف پرایمینگ (ب)

بر سرعت جوانه زنی بذور بالنگوی سیاه حاصل از آزمایش گلخانه‌ای نوبت دوم

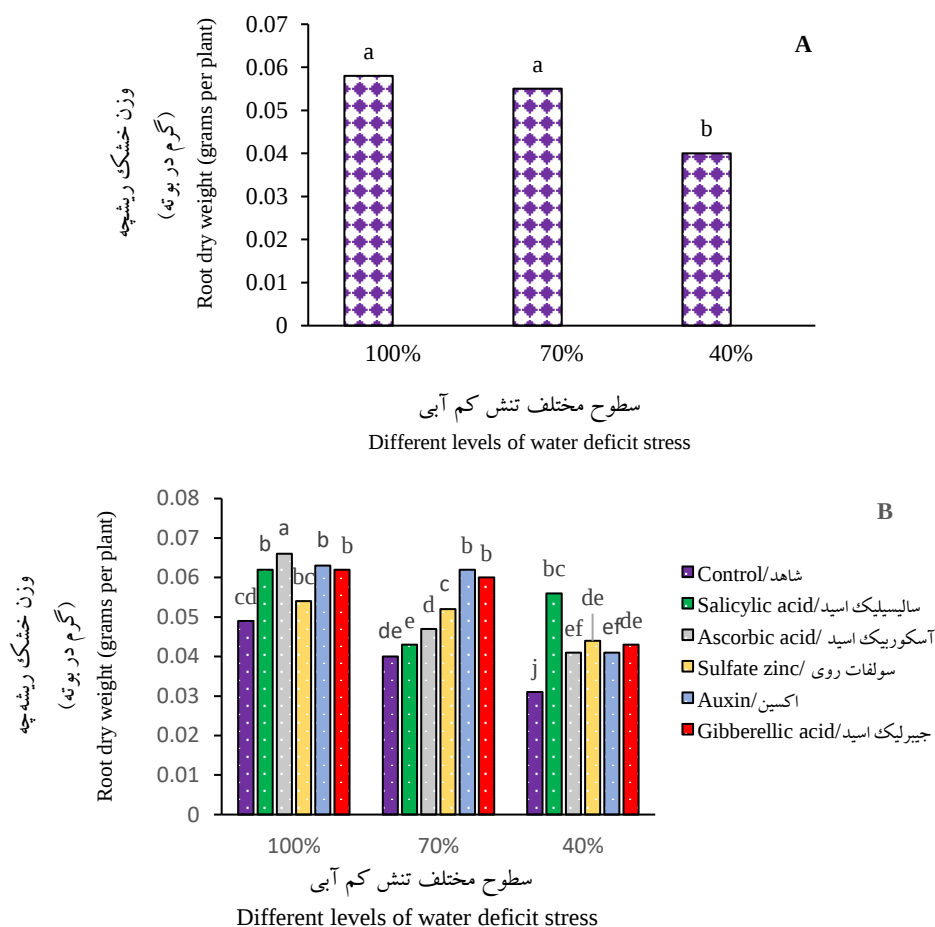
Figure 4- Mean comparison of the simple effects of different water deficit levels (A), and different priming treatments (B) on the germination rate of *Lallelantia iberica* seeds obtained from the second greenhouse experiment

وزن خشک ریشه چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده تنش کم آبی و پرایمینگ بذور و اثر متقابل این دو عامل در سطح یک درصد بر صفت وزن خشک ریشه چه معنی دار گردیدند (جداول ۲ و ۳). در آزمایش اول، بیشترین وزن خشک ریشه چه به آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک اختصاص داشت و تنش کم آبی (آبیاری به میزان ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) مقدار صفت مذکور را به طور معنی داری کاهش داد (شکل ۵ الف). در آزمایش دوم، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، بیشترین وزن خشک ریشه چه (۰/۰۶۶ گرم در بوته) به تیمار پرایم آسکوربیک اسید تعلق داشت و کمترین میزان (۰/۰۴۹ گرم در بوته) به تیمار شاهد مربوط بود. در سطح تنش کم آبی ۷۰ درصد، بیشترین میزان (۰/۰۶۲ گرم) به تیمارهای پرایم اکسین اختصاص یافت که با پرایم جبرلیک اسید در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین وزن خشک ریشه چه (۰/۰۴) گرم در بوته) به تیمار شاهد تعلق داشت. در سطح تنش کم آبی ۴۰ درصد بیشترین وزن خشک ریشه چه (۰/۰۵۶ گرم در بوته) به تیمار پرایم سالیسیلیک اسید و کمترین وزن خشک ریشه چه (۰/۰۳۱ گرم در بوته) به تیمار شاهد مربوط بود. در این سطح آبیاری همه تیمارهای پرایمینگ به طور معنی داری وزن خشک

ریشه چه را نسبت به شاهد کاهش دادند (شکل ۵ ب). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های جوانه زنی ژنوتیپ‌های بومی و اصلاح شده بذور برنج بیان گردید که گیاهان تحت تیمار تنش خشکی نسبت به گیاهان حاصل از بذورهای شاهد حداقل وزن خشک ریشه چه و ساقه چه را نشان دادند (Fallah Shamsi et al., 2016). همچنین کاهش پتانسیل آب در گیاه ریحان، درصد و سرعت جوانه زنی، وزن ریشه چه و ساقه چه، طول ریشه چه و ساقه چه را کاهش داد که با نتایج آزمایش حاضر هم خوانی دارد (Hosseini & Rezvani Moghaddam, 2006). آزمایش پرایمینگ بذور برنج با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی بیان داشتند که استفاده از این ماده باعث جوانه زنی یکنواخت و سریع بذورهای تیمار شده گردید و طول ریشه چه و ساقه چه و وزن تر و خشک ریشه چه و ساقه چه را در شرایط تنش خشکی افزایش داد که با نتایج آزمایش حاضر هم خوانی دارد (Gholami et al., 2021). در آزمایشی محققان اظهار داشتند که پرایم کردن بذور با هورمون جبرلیک اسید باعث افزایش وزن خشک ریشه چه گردید چرا که جبرلیک اسید از طریق ایجاد تعادل هورمونی در بذور و کاهش مواد بازدارنده از جمله آبسزیک اسید باعث افزایش شاخص‌های مختلف جوانه زنی می‌شود (Ansari et al., 2013). در تحقیق حاضر، تحت شرایط آبیاری به

میزان ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک پرایم بذر با جیبرلیک اسید باعث کاهش وزن خشک ریشه چه گردید که نشان می دهد تنش کم آبی شدید مانع تأثیر مثبت پرایم ها شده است.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر ساده تنش کم آبی بر وزن خشک ریشه چه حاصل از بذور به دست آمده در آزمایش گلخانه ای نوبت اول (الف) و اثر متقابل پرایمینگ بذر × سطوح تنش کم آبی بر وزن خشک ریشه چه حاصل از بذور به دست آمده در آزمایش گلخانه ای نوبت دوم (ب) در گیاه بالنگوی سیاه

Figure 5- Comparison of the mean simple effect of water deficit on the dry weight of radical obtained from seeds obtained in the first greenhouse experiment (a) and the interaction effect of seed priming × water deficit levels on the dry weight of radical obtained from seeds obtained in the second greenhouse experiment (b) in dragon's head plant

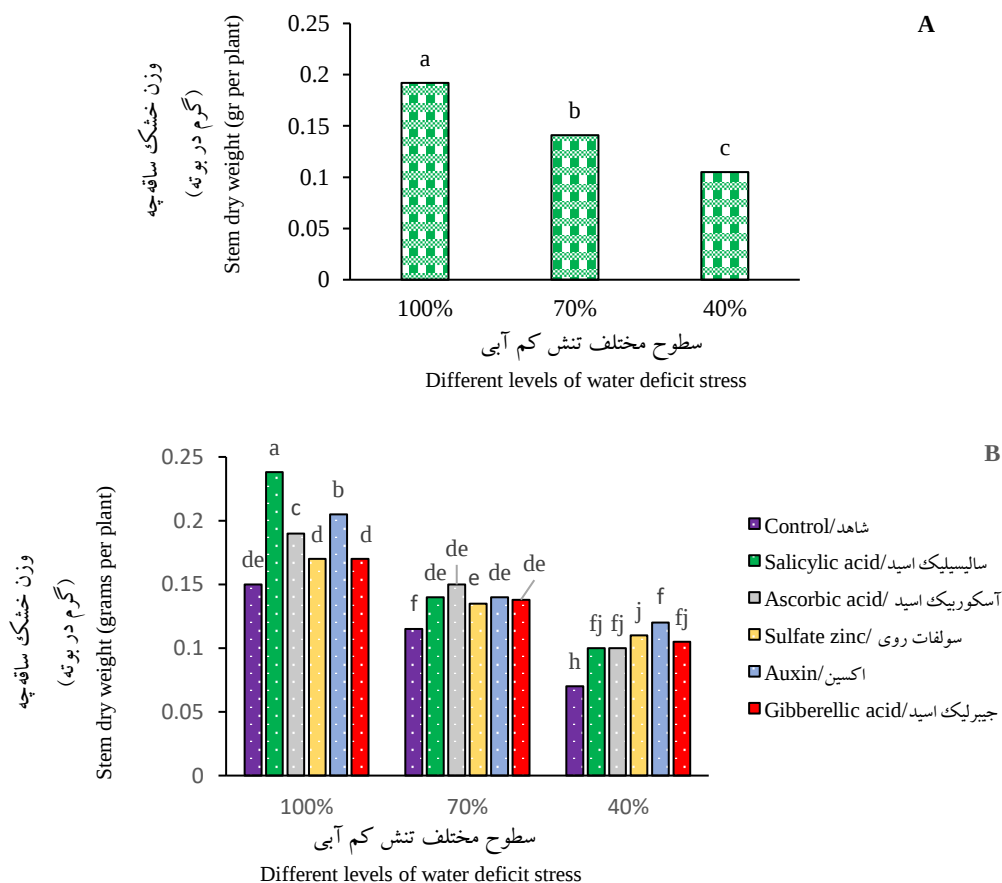
وزن خشک ساقه چه

ساقه چه (۰/۲۳۸ گرم) به تیمار پرایم سالیسیلیک اسید و کمترین میزان (۰/۱۵۸ درصد) به تیمار شاهد مربوط بود. در سطح تنش کم آبی ۷۰ درصد، بیشترین وزن خشک ساقه چه (۰/۱۵ گرم) به تیمار پرایم آسکوربیک اسید و کمترین میزان (۰/۱۱۵ گرم) به تیمار شاهد تعلق داشت، اگرچه تفاوت معنی داری بین تیمارها مشاهده نگردید. در سطح تنش کم آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک، بیشترین وزن خشک ساقه چه (۰/۱۲ درصد) به تیمار پرایم اکسین و کمترین میزان (۰/۰۷ درصد) به تیمار شاهد مربوط بود (شکل ۶ ب). در آزمایش دوم، بیشترین وزن خشک ساقه چه به

وزن خشک ساقه چه تحت اثرات ساده تنش کم آبی و پرایمینگ و اثر متقابل تنش کم آبی × پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۲). در آزمایش دوم، تنها اثر ساده تنش کم آبی در سطح احتمال یک درصد بر صفت مذکور معنی دار گردید (جدول ۳). در آزمایش اول، بروز تنش کم آبی باعث کاهش وزن خشک ساقه چه شد و تیمارهای تنش در تمامی سطوح پرایمینگ تفاوت معنی داری با سطح آبیاری کامل نشان دادند (شکل ۶ ب). در شرایط آبیاری کامل، بیشترین وزن خشک

زراعی خاک مربوط بود (شکل ۶ الف). محققان دیگر نیز گزارش کردند که بین رژیم‌های آبیاری ۱۰۰ درصد و ۸۰ درصد و ۶۰ درصد، بیشترین وزن خشک ساقچه در رژیم‌های آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد و کمترین آن در تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد (Herman & Sultan, 2011).

آبیاری کامل مربوط بود که با اعمال تنش کم آبی وزن خشک ساقچه کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار به تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مربوط بود (شکل ۶ ب). در آزمایش دوم، بیشترین مقدار (۰/۱۹ گرم) به سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد و کمترین مقدار (۰/۱۰ گرم) به تنش کم آبی ۴۰ درصد ظرفیت



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر ساده تنش کم آبی در آزمایش اول (الف) و اثر متقابل پرایمینگ بذر × سطوح تنش کم آبی بر وزن خشک ساقچه حاصل از بذور به دست آمده در آزمایش گلخانه‌ای نوبت اول دوم (ب) در گیاه بالنگوی سیاه

Figure 6- Comparison of the mean simple effect of water deficit in the first experiment (A) and the interaction effect of seed priming × water deficit levels on the dry weight of plumule obtained from seeds obtained in the second greenhouse experiment (b) in dragon's head plant (B)

تیمار اکسین و کمترین میزان (۰/۱۷ گرم در بوته) به تیمار شاهد مربوط بود. در سطح تنش کم آبی ۷۰ درصد، بیشترین میزان (۰/۱۷ گرم در بوته) به تیمار پرایم جیبرلیک اسید اختصاص یافت که با تیمارهای اکسین، سولفات روی و سالیسیلیک اسید در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین میزان (۰/۱۳ گرم در بوته) به تیمار شاهد تعلق داشت که با تیمارهای آسکوربیک اسید در یک گروه

وزن خشک گیاهچه

خشک گیاهچه حاکی از آن است که اثر متقابل تنش کم آبی × پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۲ و ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در آزمایش اول نشان داد، تنش کم آبی ۷۰ درصد و ۴۰ درصد باعث کاهش وزن خشک گیاهچه شدند و تفاوت معنی داری با آبیاری کامل داشتند. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، بیشترین وزن خشک گیاهچه (۰/۲۲ گرم در بوته) به

طول ریشه‌چه

جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات جوانه‌زنی بذور حاصل از آزمایشات اول و دوم گلخانه‌ای نشان داد طول ریشه‌چه در هر دو آزمایش به‌طور معنی‌داری به‌وسیله اثرات ساده تنش کم آبی و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۲ و ۳).

در آزمایش اول، بذور حاصل از گیاهان تحت شرایط آبیاری کامل طول ریشه‌چه بیشتری داشتند. اعمال تنش کم آبی و افزایش شدت تنش باعث کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه شد به‌طوری‌که کمترین مقدار این صفت، تحت تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک حاصل گردید (شکل ۸ الف). مقایسه میانگین تیمارهای پرایمینگ بذر نشان می‌دهد که بالاترین طول ریشه‌چه (۲۱/۳۲ میلی‌متر) به تیمار شاهد تعلق داشت. این تیمار با تیمار پرایمینگ بذر با آسکوربیک اسید در یک گروه آماری قرار داشت که به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ برتر بودند. کمترین طول ریشه‌چه (۱۶/۸۰۰ میلی‌متر) نیز به تیمار پرایم سالیسیلیک اسید مربوط بود که تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۸ ب). در آزمایش دوم، بذور حاصل از گیاهان تحت شرایط آبیاری کامل طول ریشه‌چه بیشتری داشتند. بروز تنش کم آبی و افزایش شدت آن باعث کاهش طول ریشه‌چه شد به‌طوری‌که کمترین مقدار تحت تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک حاصل گردید (شکل ۸ ج). مقایسه میانگین تیمارهای پرایمینگ بذر نشان می‌دهد که بالاترین طول ریشه‌چه (۲۱ میلی‌متر) به تیمار شاهد و آسکوربیک اسید تعلق داشت. کمترین طول ریشه‌چه (۱۵ میلی‌متر) به تیمار پرایم سالیسیلیک اسید مربوط بود که تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها به جز تیمار جیبرلیک اسید داشت (شکل ۸ د). در پژوهشی که بر روی جوانه‌زنی و رشد آنغوزه (*Ferula gummosa* Boiss) انجام شد بیشترین طول ریشه‌چه با پرایم سولفات روی، جیبرلیک اسید و اکسین گزارش شد که با تیمار شاهد در یک محدوده قرار داشتند (Ahmadi et al., 2014). در تحقیقی، حداکثر طول ریشه‌چه، تعداد ریشه‌های ثانویه، وزن خشک ریشه‌چه و شاخساره و طول شاخساره و ریشه از بین چند تیمار پرایمینگ به تیمار آسکوربیک اسید تعلق داشت (Bismillah Khan et al., 2011). در مطالعه‌ای

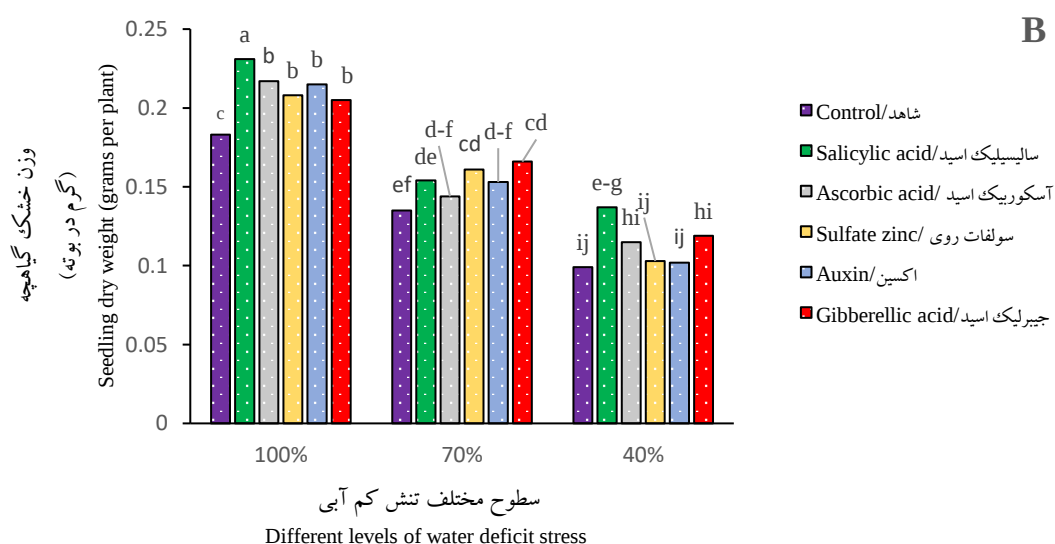
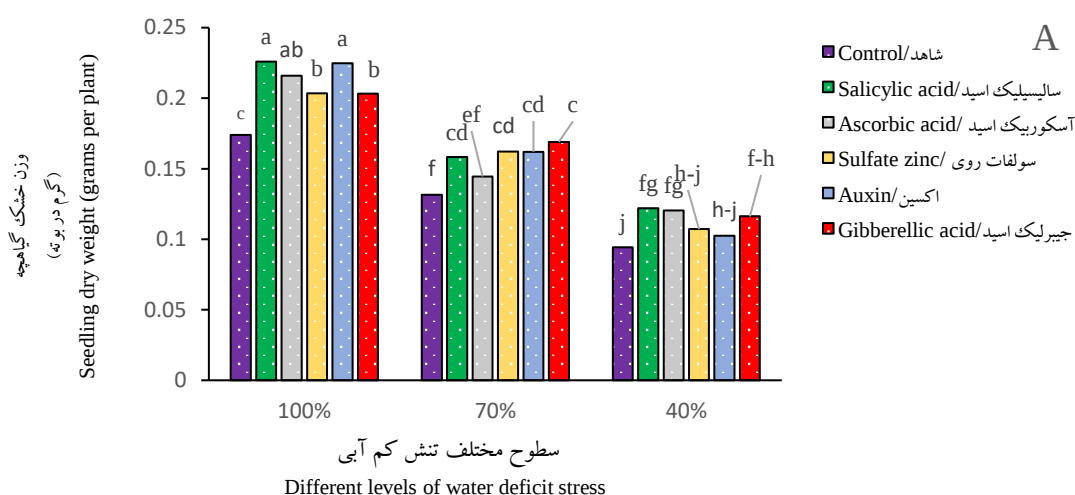
آماري بودند. همچنین در سطح تنش کم آبی ۴۰ درصد، بیشترین وزن خشک گیاهچه (۰/۱۲ گرم در بوته) به تیمار سالیسیلیک اسید اختصاص یافت که با تیمارهای آسکوربیک اسید، جیبرلیک اسید و سولفات روی در یک گروه قرار گرفتند و کمترین میزان (۰/۰۹۴ درصد) به تیمار شاهد مربوط بود که با تیمارهای سولفات روی و اکسین تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۷ الف). در آزمایش دوم نیز، تنش کم آبی ۷۰ درصد و ۴۰ درصد باعث کاهش وزن خشک گیاهچه شدند و تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل ایجاد کردند. بیشترین وزن خشک گیاهچه (۰/۲۳ گرم در بوته) به تیمار سالیسیلیک اسید و کمترین میزان (۰/۱۸ گرم در بوته) به تیمار پرایم شاهد در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد مربوط بود. در سطح تنش کم آبی ۷۰ درصد، بیشترین میزان (۰/۱۷ گرم در بوته) به تیمار پرایم جیبرلیک اسید تعلق داشت که با سایر تیمارهای پرایمینگ به غیر از شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین میزان (۰/۱۴ گرم در بوته) به تیمار پرایم شاهد تعلق داشت که با تیمارهای پرایم با سالیسیلیک اسید، آسکوربیک اسید و اکسین هم گروه بودند. در سطح تنش کم آبی ۴۰ درصد، بیشترین وزن خشک گیاهچه (۰/۱۳۷ گرم در بوته) به تیمار سالیسیلیک اسید و کمترین میزان (۰/۰۹۹ درصد) به تیمار شاهد مربوط بود. تنها تیمار پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد (شکل ۷ ب). در مراحل اولیه تنش، سرعت رشد ریشه‌چه به دلیل حساسیت کم آن به کمبود آب بالا بوده و با روند افزایش تنش کم آبی و در نتیجه، کاهش جذب آب توسط بذر و کاهش فعالیت آنزیم و ترشح هورمون‌ها اختلال در رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌وجود آمد. از آنجایی که تقسیم و بزرگ شدن سلول نیاز به آب دارد با کاهش یافتن آب طی تنش، رشد و تقسیم سلولی کاهش یافته و رشد گیاه نیز کاهش می‌یابد (Gholizadeh et al., 2012). جیبرلیک اسید یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد است که در فعالیت‌هایی از جمله تقسیم سلولی، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و افزایش وزن خشک گیاهچه دخالت دارد (Eisvand et al., 2010). محققان اظهار داشته‌اند که بیشترین وزن خشک گیاهچه بالنگو (۰/۰۷۱ گرم در بوته) به تیمار پرایمینگ بذر توسط سالیسیلیک اسید در شرایط عدم تنش کمبود آب مربوط بود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Ahmadi et al., 2018).

صفت طول ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در آزمایش دوم، اثر ساده تنش کم‌آبی در سطح احتمال یک درصد بر طول ساقه‌چه معنی‌دار گردید (جدول ۲ و ۳). همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد (شکل‌های ۹ الف و ج) در هر دو آزمایش، بذور حاصل از گیاهان تحت شرایط آبیاری کامل، طول ساقه‌چه بیشتری داشتند. وقوع تنش کم‌آبی و افزایش شدت آن طول ساقه‌چه را به طور معنی‌داری کاهش داد به‌طوری‌که کمترین طول ساقه‌چه تحت شرایط تنش کم‌آبی (آبیاری به میزان ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) حاصل گردید (شکل ۹ الف و ج).

دیگر اظهار شد که کاربرد جیبرلیک اسید و توفوردی در گیاه جعفری چینی (*Petroselinum sativum*) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه (طول ریشه و شاخساره) گردید و مدت جوانه‌زنی را کاهش داد (Kumar et al., 2014).

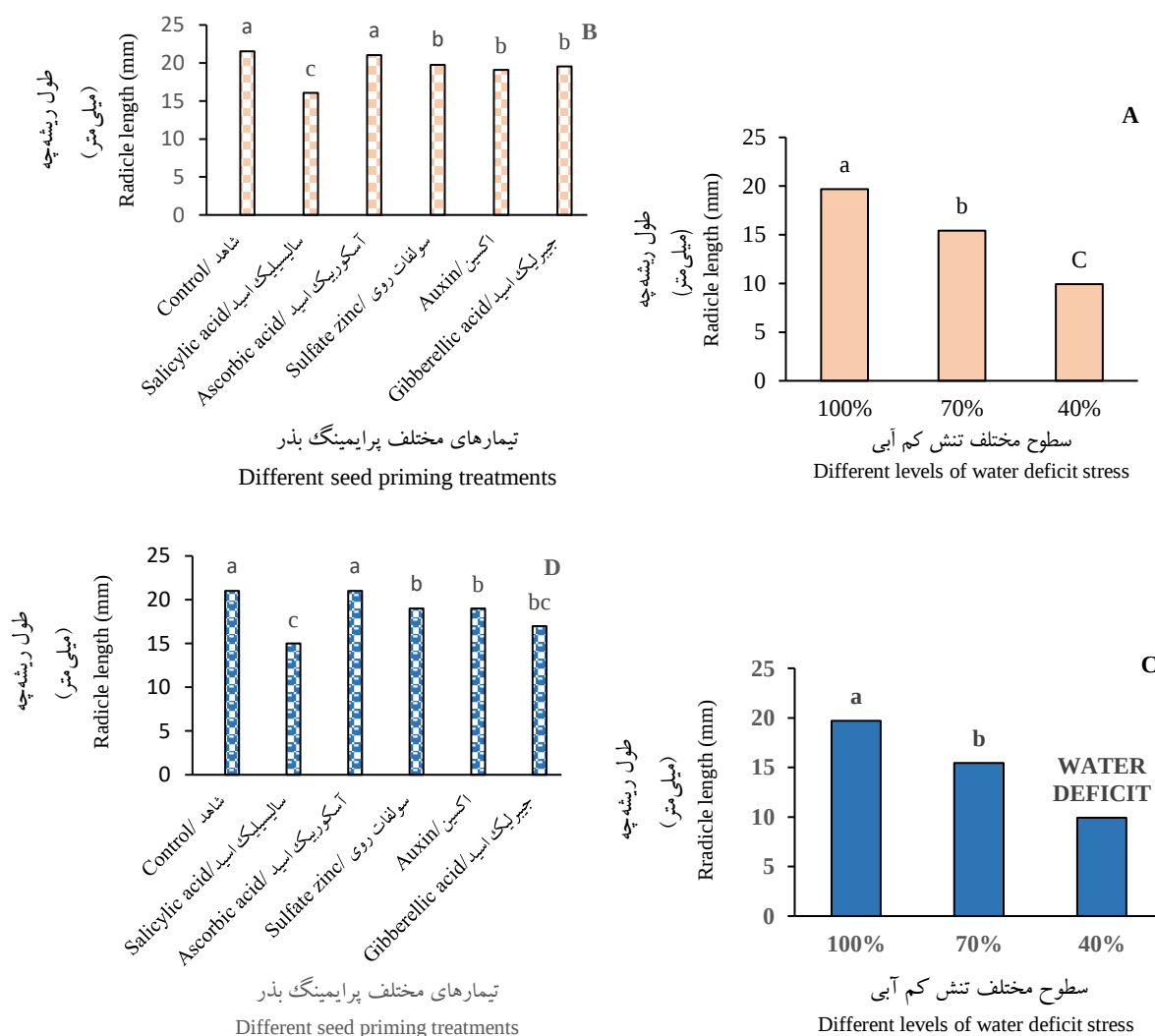
طول ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات جوانه‌زنی بذور حاصل از آزمایشات اول و دوم گلخانه‌ای بیانگر آن است که در آزمایش اول، اثرات ساده تنش کم‌آبی و پرایمینگ بذور بر



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری × پرایمینگ بذور بر وزن خشک گیاهچه‌های حاصل از بذور گیاه بالنگوی سیاه در آزمایشات گلخانه‌ای نوبت اول (الف) و دوم (ب)

Figure 7- Comparison of the average interaction effect of irrigation levels × seed priming on the dry weight of seedlings obtained from dragon's head seeds obtained in the first (A) and the second greenhouse experiments (B)

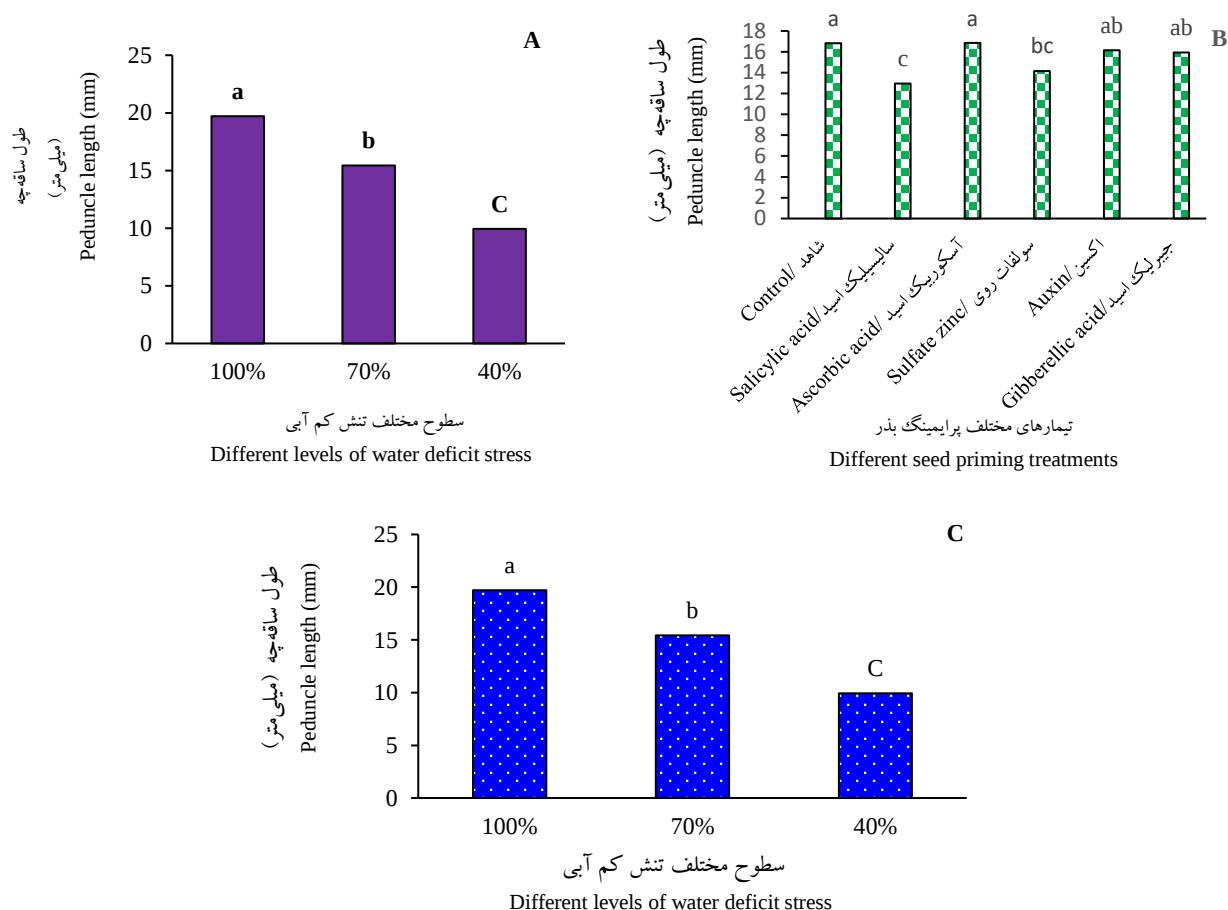


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف تنش کم آبی و پرایمینگ بذر بر طول ریشه چه حاصل از بذور گیاه بالنگوی سیاه در آزمایشات گلخانه‌ای نوبت اول (الف و ب) و دوم (ج و د)

Figure 8- Comparison of the mean simple effect of different levels of water deficit and seed priming on the radicle length obtained from dragon's head seeds obtained in the first (A and B) and second greenhouse experiments (C and D)

تنش خشکی کاهش یافت. تیمار جیبرلیک اسید با فعال کردن آنزیم آلفا آمیلاز که باعث هیدرولیز نشاسته می‌شود باعث افزایش طول ساقه چه در گیاه بالنگوی سیاه گردید (Eisvand et al., 2010). محققان بیان داشتند که در مقایسه رشد گیاهان در بذره‌ای تیمار شده با اکسین و آسکوربیک اسید، افزایش معنی‌داری در طول ساقه چه در هر سه رقم پنبه در تیمار اکسین به عنوان عامل رشد طولی گیاه ملاحظه گردید (Lof Alinejad et al., 2018).

مقایسه میانگین تیمارهای پرایمینگ بذر نشان می‌دهد که بالاترین طول ساقه چه (۱۶/۶۸۵ میلی‌متر) به تیمار پرایمینگ بذر گیاه مادری با آسکوربیک اسید تعلق داشت. این تیمار با تیمارهای پرایمینگ بذر با اکسین، جیبرلیک اسید و شاهد در یک گروه آماری قرار داشتند. کمترین مقدار (۱۲/۹۵۸ میلی‌متر) به تیمار پرایم سالیسیلیک اسید مربوط بود که تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۹ ب). در آزمایشی بیان داشتند که طول ساقه چه بالنگوی سیاه تحت



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ بذر و سطوح مختلف تنش کم آبی بر طول ساقچه حاصل از بذور گیاه بالنگوی سیاه در آزمایشات گلخانه‌ای نوبت اول (الف و ب) و دوم (ج)

Figure 9- Comparison of the average effect of simple seed priming and different levels of water deficit on the length of plumule obtained from dragon's head seeds obtained in the first (A and B) and second greenhouse experiments (C)

آبیاری تأثیر گذار است اما به نظر می‌رسد تأثیر آن روی برخی خصوصیات جوانه‌زنی بذور حاصل در مواردی به دلیل دخالت عوامل مختلف محیطی روی گیاه مادری چندان چشمگیر نیست.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از تمامی حمایت‌ها و همکاری دانشگاه کردستان جهت فراهم آوردن امکانات مورد نیاز برای اجرای این پایان نامه کارشناسی ارشد، تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

نتیجه گیری کلی

مقادیر تمام صفات جوانه‌زنی بذور حاصل از گیاهان تحت تیمارهای آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک نسبت به آبیاری ۷۰ درصد و آبیاری کامل کاهش قابل توجهی داشت. در بین تیمارهای پرایمینگ، تیمار پرایم بذر با اکسین (۱۵۰ میلی گرم در لیتر) به دلیل اینکه وزن خشک ریشه‌چه، ساقچه‌چه و گیاهچه بذور به دست آمده از گیاهان بالنگوی تحت شرایط تنش و عدم تنش را تا حدود زیادی افزایش داد و بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور را نیز به خود اختصاص داد می‌تواند به عنوان یک تیمارهای برتر مورد توجه قرار گیرد. در حالت کلی، اگرچه در بسیاری موارد، پرایمینگ بذر بر خصوصیات فیزیولوژیک، رشد و عملکرد گیاهان حاصل از این بذور تحت سطوح مختلف

References

- Abasi Sadr, S., Sharafi, S., & Hassanzadeh Ghorttapeh, A. (2018). Effect of drought stress and seed priming on some vegetative and reproductive traits of castor bean (*Ricinus communis* L.) var esfahan. *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(1), 75–88. [In Persian]
- Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific Reports*, 10(1), 5037. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7>
- Ahmadi, K., Hajibarat, Z., Karimi, T., & Shojaeian, A. (2018). Investigation of the effect of salicylic acid priming on germination indices of *lalllemantia royleana* seeds under drought stress. *Seed Research Journal*, 8(1), 78–87. [In Persian]
- Ahmadi, K., Parsa, S., Mahmoudi, S., & Gzanchian, G. A. (2014). Investigating the effects of priming nutrients on germination and growth of *Ferula gummosa* Boiss. *Journal of Seed Ecophysiology*, 1(2), 137–151. <https://doi.org/10.22077/sej.2016.426> [In Persian]
- Amini, Z., Alizadeh, M. A., & Nasiri, M. (2015). The effect of seed priming and cold treatment on improving germination characteristics and seed structures of three populations of *Sahendica Satureja* medicinal plant. *Iranian Seed Science and Technology*, 4(1), 15–26.
- Amiri, M. B., Rezvani Moghadam, P., Ehiaei, H. R., Falahi, J., & Aghvani Shajari, M. (2011). Response of germination and seedling growth of *Hyssopus officinalis* and marguerite (*Chrysanthemum superbum*) plants to water stress. *Plant Ecophysiology Research Journal*, 3(8), 65–77. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1282731> [In Persian]
- Ansari, O., Azadi, M. S., Sharif-Zadeh, F., & Younesi, E. (2013). Effect of hormone priming on germination characteristics and enzyme activity of mountain rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress conditions. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 9(3), 61–71.
- Ansari, O., & Sharif Zadeh, F. (2012). Slow moisture content reduction (SMCR) can improve some seed germination indexes in primed seeds of mountain rye (*Secale montanum*) under accelerated aging conditions. *Journal of Seed Science and Technology*, 2(2), 68–76. [In Persian]
- Bismillah Khan, M., Madhia Aman, G., Mubshar, H., Shoaib, F., & Khalid, M. (2011). Wheat seed enhancement by vitamin and hormonal priming. *Pakistan Journal of Botany*, 43(3), 1495–1499.
- Causin, H. F., Bordón, D. A., & Burrieza, H. (2020). Salinity tolerance mechanisms during germination and early seedling growth in *Chenopodium quinoa* Wild. genotypes with different sensitivity to saline stress. *Environmental and Experimental Botany*, 172, 103995. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.103995>
- Daneshmandi, M. S., Tavakkol Afshari, R., & Sadrabadi Haghighi, R. (2019). The study of seed germination and seedling growth of balangu (*Lallemantia royleana* (Benth.) Benth. in Wall) in response to temperature and quantification of cardinal temperatures using nonlinear regression models. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(2), 205–218. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2019.110945.1102> [In Persian]
- Eisvand, H. R., Alizadeh, M. A., & Fekri, A. (2010). How hormonal priming of aged and nonaged seeds of brome grass affects seedling physiological characters. *Journal of New Seeds*, 11(1), 52–64. <https://doi.org/10.1080/15228860903584523>
- Fallah Shamsi, S. A., Pirdashti, H. A., Ebadi, A. A., Esfahani, M., & Raini, M. (2016). The effect of drought stress on reproductive stage and seed germination characteristics of native and improved genotypes of rice (*Oryza sativa*). *Iranian Seed Research*, 4(1), 75–87. <https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.75> [In Persian]
- Ghalikhani, E., Hassanpour, H., & Niknam, V. (2020). Sinusoidal vibration alleviates salt stress by induction of antioxidative enzymes and anatomical changes in (*Mentha pulegium* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(3), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-3017-4>
- Gholami, S., Rostami, T., Ahmadi, K., Amini Dehaghi, M., & Bagheri, M. (2021). Effect of salicylic acid on the germination of two genotypes of quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 14(1), 157–170. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2658.1696> [In Persian]
- Gholizadeh, E., Aynaband, A., Hassanzadeh, A., Noormohammadi, G., & Bernousi, I. (2012). Effect of drought stress, nitrogen amount and plant densities of grain yield, rapidity and period of grain filling in sunflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(1), 129–143. [In Persian]
- Gol Kerami, A., & Kavyanirad, M. (2016). The effect of water resource limitation on hydropolitical tensions (case example: the central watershed of Iran with an emphasis on the Zayandeh Rood watershed). *Geography and Environmental Planning*, 28(1), 113–134. <https://doi.org/10.22108/GEP.2017.97903.0> [In Persian]
- Hedge, I. C. (1970). Observations on the mucilage of *Salvia* fruits. *Notes from the Royal Botanic Garden Edinburgh*, 30(1), 79–95. <https://doi.org/10.24823/nrbge.1970.2835>

- Herman, J. J., & Sultan, S. E. (2011). Adaptive transgenerational plasticity in plants: Case studies, mechanisms, and implications for natural populations. *Frontiers in Plant Science*, 2, 102–118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2011.00102>
- Hosseini, H., & Rezvani Moghaddam, P. (2006). Effect of drought and salinity on *Plantago scabra* seed germination. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 4(1), 2–15. [In Persian]
- Karimi Jalilehvandi, T., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh, A. R. (2017). Effects of sowing date and chemical fertilizer on seed vigor and qualitative and quantitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(1), 126–138. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109717> [In Persian]
- Kumar, M., Agnihotri, R. K., Vamil, R., & Sharma, R. (2014). Effect of phytohormones on seed germination and seedling growth of *Coriandrum sativum* L. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 17(4), 594–596. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2014.594.596>
- Latifi, S. A., & Omid, H. (2019). Investigating the effect of auxin hormone priming on the seed germination index of the savory medicinal plant (*Satureja hortensis*) under salt stress. *Journal of Seed Research*, 10(35), 1–10. [In Persian]
- Lotf Alinejad, A., Saneyi, S. C., & Wardavi, S. A. (2018). Effects of seed priming on the germination traits, physiological characteristics and control of cotton rhizoctonia disease. *Iranian Seed Science and Research*, 5(1), 83–93. <https://doi.org/10.22124/JMS.2018.2902> [In Persian]
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Maleki Narg Mousa, M., Balouchi, H., & Attarzadeh, M. (2015). Effect of seed priming on some germination traits and seedling growth of safflower under drought stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.29252/yujs.2.1.1>
- Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8558. <https://doi.org/10.3390/ijms21218258>
- Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2016). Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran. <https://purl.stanford.edu/vf990qz0340>
- MohammadGhasemi, V., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L., & Popović-Djordjević, J. (2020). Winter cultivation and nano fertilizers improve yield components and antioxidant traits of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* (MB) Fischer and Meyer). *Plants*, 9(2), 252. <https://doi.org/10.3390/plants9020252>
- Mohammadghasemi, V., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L., & Popović-Djordjević, J. (2021). Morpho-biochemical traits and macro-elements of *Lallemantia iberica* (MB) Fischer and Meyer, as affected by winter (late autumn) sowing, chemical and nano-fertilizer sources. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(2), 29. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03169-y>
- Neill, E. M., Byrd, M. C., Billman, T., Brandizzi, F., & Stapleton, A. E. (2019). Plant growth regulators interact with elevated temperature to alter heat stress signaling via the unfolded protein response in maize. *Scientific Reports*, 9(1), 10392. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46839-9>
- Omid, H., Shams, H., Seif Sahandi, M., & Rajabian, T. (2018). Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 641–646. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.014>
- Pahlavan, A., Feizi, H., & Daneshmandi, M. S. (2018, February 13). Determination of cardinal temperature of *Lallemantia iberica* using nonlinear regression models. 4th National Congress of Iranian Seed Science and Technology, Karaj, Iran.
- Paravar, A., Maleki Farahani, S., & Rezazadeh, A. (2021). *Lallemantia* species response to drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi application. *Industrial Crops and Products*, 172, 114002. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114002>
- Razavi, S. M. A., & Mohammadi, M. T. (2011). Influence of different substitution levels of Balangu seed gum on textural characteristics of selected hydrocolloids. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10(8), 2676.
- Rehman, A., Farooq, M., Ahmad, R., & Basra, S. (2015). Seed priming with zinc improves the germination and early seedling growth of wheat. *Seed Science Technology*, 43(2), 262–268. <https://doi.org/10.15258/sst.2015.43.2.15>
- Rusta, A., & Parsa, S. (2016). The effect of hormonal priming on seed germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) Birjand landrace under salinity and drought stress conditions. *Journal of Seed Ecophysiology*, 2(1), 77–92. <https://doi.org/10.22077/sej.2017.1018> [In Persian]

- Saberi, M., & Karimian, V. (2018).** Effect of chemical stimulants on improvement of growth, support, and reproduction of datura stramonium medicinal plant under stress with allopathic compounds of *Eucalyptus Camaladulensis*. *Pasture*, 12(4), 401–410. <https://doi.org/20.1001.1.20080891.1397.12.4.4.4>
- Salehi, F. (2019).** Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(2), 193–201. <https://doi.org/10.1007/s41783-019-00061-0>
- Salehi Sardoui, A., & Hasanpour, M. (2021).** The effect of different concentrations of gibberellic acid and benzyladenine on some growth characteristics, sugars and photosynthetic pigments of *Ficus Benjamin*. *Flower and Ornamental Plants*, 2(6), 107–118. <https://doi.org/10.52547/flowerjournal.6.2.107>
- Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafiei, F., & Nejatkhah, P. (2021).** Morphological and biochemical responses of (*Sorghum bicolor* L.) moench under drought stress. *SN Applied Sciences*, 3(1), 81. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03977-4>
- Shekari, F., Abbasi, A., & Javanmard, A. (2016).** Effect of seed priming on enzymatic and morphological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficiency conditions. *Research in Field Crop Journal*, 3(2), 1–15. <https://doi.org/10.29252/yujs.3.2.1> [In Persian]
- Singh, K., Gupta, N., & Dhingra, M. (2018).** Effect of temperature regimes, seed priming and priming duration on germination and seedling growth on American cotton. *Journal of Environmental Biology*, 39, 83–91. <https://doi.org/10.22438/jeb/39/1/MRN-446>
- Sun, Y., Tan, D. Y., Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2012).** Role of mucilage in seed dispersal and germination of the annual ephemeral *Alyssum minus* (Brassicaceae). *Australian Journal of Botany*, 60(5), 439–449. <https://doi.org/10.1071/BT11314>
- Talebi, S. M. (2011).** Morphology of the nutlet of the genus *Lallemantia* Fisch. et Mey. (Labiatae) in Iran. *Giah va Zistboom*, 7(25), 25–34. [In Persian]
- Western, T. L. (2012).** The sticky tale of seed coat mucilages: Production, genetics, and role in seed germination and dispersal. *Seed Science Research*, 22(1), 1–25. <https://doi.org/10.1017/S0960258511000249>
- Yang, X., Dong, M., & Huang, Z. (2010).** Role of mucilage in the germination of *Artemisia sphaerocephala* (Asteraceae) achenes exposed to osmotic stress and salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(2–3), 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.12.006>
- Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C., & Guo, J. (2018).** Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products*, 117, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.087>